Aus dem Hygienischen Institut der Universität Tübingen
(Vorstand: Prof. Dr. Kurt Wolf.)

Über die Lüftung von Versammlungsräumen

unter besonderer Berücksichtigung

der modernen Ozonventilatoren.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der Medicin, Chirurgie und Geburtshilfe

unter dem Präsidium von

Prof. Dr. K. WOLF, o. ö. Prof. der Hygiene
Vorstand des Hygienischen Instituts der Universität Tübingen

einer

hohen medicinischen Fakultät der Universität in Tübingen

vorgelegt von

Eberhard Albrecht Leonhardt aus **Tübingen.**

□ □ □

Druck von J. STERCKEN, Aachen.

413

Aus dem Hygienischen Institut der Universität Tübingen
(Vorstand: Prof. Dr. Kurt Wolf.)

Über die Lüftung von Versammlungsräumen

unter besonderer Berücksichtigung

der modernen Ozonventilatoren.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der Medicin, Chirurgie und Geburtshilfe

unter dem Präsidium von

Prof. Dr. K. WOLF, o. ö. Prof. der Hygiene
Vorstand des Hygienischen Instituts der Universität Tübingen

einer

hohen medicinischen Fakultät der Universität in Tübingen

vorgelegt von

Eberhard Albrecht Leonhardt aus **Tübingen.**

□ □ □

ACAD. UGD. BAT. BIBL.

Druck von J. STERCKEN, Aachen.

Gedruckt mit Genehmigung der medicinischen Fakultät der Universität Tübingen.

Referent: Professor Dr. Kurt Wolf.

Die Lüftung von Versammlungsräumen bildet auch heute noch ein Problem, das Hygieniker und Techniker vor die schwierigsten Aufgaben setzt. In ganz besonderem Mass gelten hier die Anforderungen, die an eine gute Lüftungsanlage gestellt werden: die Luftzufuhr soll unabhängig sein von Windrichtung, von Aussentemperatur und Jahreszeit; die zugeführte Luft soll rein sein; Temperatur, Kohlensäure- und Feuchtigkeitsgehalt der Luft sollen sich innerhalb gewisser Grenzen halten; die Wärme soll möglichst gleichmässig verteilt sein; es soll durch die Ventilation kein Staub aufgewirbelt werden. Aber selbst wenn alle diese Forderungen erfüllt sind, kann der Aufenthalt in einem überfüllten Saal nichts weniger als angenehm sein; es hat sich gezeigt, in Theatern oder im Zwischendeck überseeischer Schiffe, wo eine grosse Zahl Menschen von zweifelhafter Reinlichkeit zusammengedrängt ist, dass die belästigenden üblen Gerüche nicht zu beseitigen waren, auch wenn noch so energische Ventilation den Kohlensäuregehalt der Luft nicht über den von Pettenkofer angegebenen Maximalwert von 1 pro Mille hinausgehen liess. Um diesem Übelstand abzuhelfen, sind in neuerer Zeit Ozon erzeugende Apparate empfohlen worden, die, wie die Anpreisungen sagen, dank der oxydierenden und desinficierenden Eigenschaften des Ozons imstande sein sollen, die Luft auf chemischem Wege auch dort zu verbessern, wo die Ventilation allein nicht ausreicht. Im Tübinger hygienischen Institut ist seit einiger Zeit ein derartiger Apparat von der Stuttgarter Aktiengesellschaft für Ozonverwertung eingebaut worden. Ich bin gerne einer Anregung von Herrn Professor Wolf nachgekommen, die Leistung dieser Anlage zu prüfen.

Für die Wahl von Ventilationsanlagen ist massgebend der zu befriedigende Luftbedarf. Es ist ohne weiteres klar, dass ein zu bestimmten Zeiten stark besetzter Versammlungsraum viel energischer gelüftet werden muss als ein gleichmässig benutzter Wohnraum; bei diesen kann die Lufterneuerung meist der natürlichen Ventilation durch das Mauerwerk, sowie die Spalten an den Fenstern überlassen werden, während sie in jenen niemals ausreicht. Die natürliche Ventilation beruht auf der verschiedenen Schwere von verschieden stark erwärmten Luftsäulen oder auf dem Winddruck. Ihre Leistungsfähigkeit ist sehr beschränkt; Rubner[1]) rechnet die Ventilationsgrösse für je 1° Temperaturdifferenz zu 0,077 des Zimmervolumens in einer Stunde; bleibt jedoch die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Aussenluft unter 5°, dann tauschen sich beide nicht nennenswert aus. Wolpert[2]) gibt für kleine Wohnungen 0,025 im Mittel der Versuche für 1° Temperaturdifferenz an. Die Selbstlüftung ist bei kleinen Räumen relativ grösser als bei grossen. — Die natürliche Ventilation ist abhängig ausser von der Temperatur von der Bewegung der Aussenluft; sie widerspricht also einer der oben aufgestellten Forderungen. Bei den durch Temperaturdifferenzen hervorgerufenen aufsteigenden Luftströmungen wird nicht selten die verbrauchte Luft tiefer gelegener Stockwerke von den höheren aspiriert; sie bekommen nicht Frischluft, sondern verbrauchte zugeführt. Man verzichtet deshalb bei Anlage von künstlichen Ventilationseinrichtungen am besten ganz auf die natürliche Ventilation dadurch, dass man den Fussboden so dicht wie möglich herstellt.

Zur Unterstützung der natürlichen Ventilation dienen Abzugschlote und Abzugkanäle, die zweckmässig in die Nähe der Kamine gelegt werden. Sie haben den Nachteil, dass sich der Ventilationsstrom in ihnen umkehren kann, wenn die Innenluft kälter ist als die Aussenluft, was

[1]) Rubner, Lehrbuch der Hygiene.

[2]) Wolpert, Über die Grösse des Selbstlüftungscoefficienten kleiner Wohnräume, Archiv für Hygiene 36, 1899.

namentlich in den Sommermonaten nicht selten der Fall ist. Das Eindringen von Winden in die Abzugskanäle kann durch geeignete Aufsätze verhütet werden, die zugleich als Luftsauger zur Verstärkung der natürlichen Ventilation dienen können.

Unter die künstlichen Ventilationsmethoden fällt die Luftheizung. Durch die dauernde Erwärmung der Zuleitungs- und Abluftkanäle wird ein Ventilationsstrom erzeugt, der den zu ventilierenden Räumen gleichzeitig Wärme und frische Luft zuführt, vorausgesetzt, dass die Entnahmestelle der Anlage einwandfrei ist. Der Nachteil dieser Einrichtung besteht darin, dass Heizung und Ventilation nicht zu trennen sind; bei starker Kälte und reichlichem Ventilationsbedarf fällt der grosse Verbrauch an Heizmaterial ins Gewicht. Im Sommer kann die Heizung dazu dienen, durch Erwärmung des Hauptabzugkanals einen kräftigen, die verbrauchte Luft absaugenden Luftstrom zu erzeugen. Demselben Zweck dienen Lockfeuer oder bei kleineren Verhältnissen Gasflammen.

Die beste und zuverlässigste Ventilation für stark zu ventilierende Räume ist die mechanische; sie gestattet in kürzester Zeit grosse Mengen verbrauchter Luft ab- und dafür frische Luft zuzuführen. Man unterscheidet dabei zwischen Ventilation durch Suction oder Aspiration und Ventilation durch Pulsion. — Bei dem Aspirationssystem wird die verbrauchte Luft durch den Ventilator direkt oder durch ein Röhrensystem aus dem zu ventilierenden Raum abgesaugt. Diese Methode ist nur dann zulässig, wenn gleichzeitig durch Zuleitungskanäle reine Luft von einer einwandfreien Entnahmestelle zugeleitet wird, sonst wird die verbrauchte Luft aus Küchen und ähnlichen Nebenräumen oder aus tieferen Stockwerken angesaugt. Das Pulsionssystem erfordert einen grösseren Kraftaufwand, bietet aber dafür den Vorteil, dass nur die frische Luft des Zuleitungkanals in den zu ventilierenden Raum befördert wird; der Überdruck, der in diesem herrscht, verhindert, dass die Luft von Nebenräumen aus nachströmt. — Besondere Sorgfalt verdient die Anlage der Zuführungs-

und Ableitungsöffnungen. Um Zugwirkungen zu vermeiden, soll die zuleitende Öffnung mindestens in Kopfhöhe liegen; es ist so auch ausgeschlossen, dass Staub aufgewirbelt wird. Von einer Belästigung durch die niederfallende kalte Luft kann in einem nicht zu niederen Raume keine Rede sein: Im Fallen erwärmt sich die Luft und tritt schliesslich an der der Eintrittstelle gegenüberliegenden Wand durch die in der Nähe des Bodens befindliche Ableitungsöffnung wieder aus. Ein Vorteil der Pulsionsmethode liegt weiter darin, dass der meist geräuschvoll arbeitende Motor in einem anderen Raume aufgestellt werden kann, während bei der Aspirationsmethode der Motor sich meist an einer äusseren Wand in der Nähe der Decke des Raumes selbst befindet.

Die Ventilationsanlage des hygienischen Instituts ist eine Pulsion-Ventilationsanlage. Sie soll zunächst näher beschrieben werden: Ein elektrisch angetriebener Centrifugalventilator, der in einer Kammer des Kellergeschosses aufgestellt ist, saugt die Aussenluft durch ein 24 cm weites Rohr aus verzinktem Eisenblech an und presst sie in das senkrecht aufsteigende, zum Hörsaal führende Rohr (18 cm Durchmesser). Die Öffnung des Entnahmerohrs ist in ein Fenster der Kammer eingelassen; sie hat 24 cm Durchmesser und ist durch ein weitmaschiges Drahtnetz verschlossen; sie liegt 65 cm (vom unteren Rand an gemessen) über dem Erdboden. Zwischen der Öffnung und der Strasse befindet sich eine 1 m breite betonierte Rinne und ein etwa 2 m breiter Rasenstreifen. Von dem Entnahmerohr führt ein 6 cm weites Rohr in den kastenförmigen Ozonapparat, in dem sich ein kleinerer Ventilator befindet, der die Luft aus dem Entnahmerohr ansaugt und durch die Ozonröhren hindurch in das zum Hörsaal führende Rohr einleitet. Das Ozon wird durch stille elektrische Entladung (Glimmentladung) erzeugt. Den dazu erforderlichen Hochspannungswechselstrom liefert ein im Apparat befindlicher Transformator. Die Tür des Kastens ist mit Sicherheits-Ausschaltvorrichtung versehen, so dass beim Öffnen die Hochspannung stets ausgeschaltet wird. Durch

einen Schalthebel kann eine beliebige Anzahl von Ozonelementen in Betrieb gesetzt werden. Es kann also bei dieser Anordnung Frischluftventilation allein oder ein mehr oder weniger concentriertes Ozonluftgemisch verwendet werden.

Das Zuleitungsrohr steigt im Hörsaal an einer der Breitseiten auf, um sich in der Nähe der Decke in 2 Rohre kleineren Kalibers zu teilen, die nach beiden Seiten abbiegen und zunächst an der Breitseite des Hörsaals, dann allmählich sich verjüngend den beiden Schmalseiten entlang laufen. Für den Austritt der Luft sind Schlitze angebracht, die an der Breitseite 1 m, an den Schmalseiten 70 cm von einander entfernt sind. Der Druck des Ventilators reicht bis zu der am meisten entfernten Öffnung; die Luft strömt aus dieser mit 4 m Sekundengeschwindigkeit in den Hörsaal ein, wenn der Ventilator sie mit 4,5 m in der Sekunde ansaugt. Die Röhren der Anlage sind dicht gefugt und verlötet, sodass in den luftverdünnten Raum des Entnahmerohrs nur Aussenluft durch die Entnahmeöffnung einströmen kann. — Der Hörsaal, der auf drei Seiten frei steht, hat abzüglich des treppenförmigen Aufbaus, auf dem die Subsellien aufgestellt sind, sowie des Experimentiertisches und des Podiums, auf dem dieser steht, einen Rauminhalt von 506,5 cbm. Er wird durch 4 Bogenlampen beleuchtet; über 2 von diesen befinden sich in der Decke vergitterte Ventilationslücken, die noch aus der Zeit stammen, als der Hörsaal durch 2 Siemensbrenner beleuchtet wurde. 2 Öfen stehen zu beiden Seiten des Experimentiertisches.

Gegen die Annahme des Kohlensäuregehaltes als Masstab für die Verschlechterung der Luft haben sich in neuerer Zeit schwerwiegende Bedenken geltend gemacht. Pettenkofer selbst betont: „1 pro Mille Kohlensäure als Grenzwert für gute Zimmerluft ist jetzt eine ziemlich allgemeine Annahme, die sich praktisch bewährt,

unter der Voraussetzung, dass der Mensch die einzige Kohlensäurequelle im Raume ist.“ Indess bei der Mannigfaltigkeit der Herkunft der Kohlensäure, ferner bei dem grossen Unterschiede, den die subjektiv wahrnehmbare Luftverschlechterung je nach der Reinlichkeit der versammelten Menschen zeigte, schien die blosse Bestimmung der Kohlensäure nicht mehr auszureichen; kamen doch auch in Kirchen viele üble Zufälle vor; man sollte meinen, das ungeheure über der Versammlung sich befindende Luftquantum werde es nicht zulassen, dass der Kohlensäuregehalt so beträchtlich ansteigen könne, um die üblen Zufälle zu erklären.

Die Versuche, in der Ausatemluft giftige Stoffe nachzuweisen [1]), haben bis heute zu keinem gesicherten Resultat geführt. Formanek [2]) kommt auf Grund eigener und durch Kritik anderer Versuche zu folgendem Schluss: „In den Lungen eines gesunden Menschen oder Tieres entsteht neben den bekannten Stoffen (Kohlensäure und Wasser) bei der Atmung keine giftige Substanz, welche sich der Ausatmungsluft beimenge und mit derselben die Lungen verlasse“. Später hat Peters [3]) geringe Mengen schädlicher Substanzen der Ausatmungsluft durch den Versuch am Froschherzen nachzuweisen versucht. Peters selbst bezeichnet ihre Wirkung als sehr gering; sie stehe an der Grenze dessen, was man als Schädigung bezeichnen könne. Fernerhin hat Weichardt [4]) in einer Reihe von Veröffentlichungen beweisen wollen, dass in der menschlichen oder tierischen Ausatmungsluft Stoffe mit toxischen Eigenschaften vorhanden sind. Wenn andere Untersucher sich von ihrem Vorhandensein nicht überzeugen konnten, so erklärt dies Weichardt damit, dass die Stoffe eben ausserordentlich schwer fassbar sind und in verdünnten wässrigen Lösungen rasch ihre charakteristische Wirk-

---

[1]) Brown-Sequard, D'Arsonvall, Du Bois-Reymond u. a.

[2]) Archiv für Hygiene 38, 1900.

[3]) Archiv für Hygiene 57, 1906.

[4]) Archiv für Hygiene, Bd. 65, 74 und 75. München. Med. Wochenschr. 1912, Nr. 35. Vergl. Inaga, Zeitschr. f. Hyg., Bd. 68.

samkeit verlieren. Weichardt verwendet deshalb in seinen neueren Versuchen Glycerin als Waschflüssigkeit, das die Ausatmungsprodukte am besten festhalte und bei längerem Aufbewahren konserviere. Aber auch wenn die Existenz der Ausatmungstoxine sichergestellt ist, bleibt noch die Frage, ob und wie weit die Schädlichkeit der verbrauchten Luft darauf zurückzuführen ist.

Die Uffelmannsche Methode [1]) der Bestimmung der organischen Materie der Luft mit Kaliumpermanganatlösung leidet an verschiedenen Mängeln; die feste organische Substanz der Luft ist zu einem grossen Teil hygienisch bedeutungslos und entbehrt vielfach jeglichen Zusammenhangs mit der menschlichen Lebenstätigkeit. Ausserdem ist die Methode für quantitative Untersuchungen kaum brauchbar.

Eine Stütze für die Pettenkofersche Kohlensäurebestimmung schien sich in einer Arbeit Wolperts [2]) zu bieten, der nachgewiesen zu haben glaubte, dass die Kohlensäureabgabe des Menschen durch Beimengung von Ausatemluft zur Einatemluft verringert werde und dass die vom Menschen ausgeatmete Kohlensäure den menschlichen Organismus direkt schädige. Flügge [3]) bezweifelt die rechnerischen Unterlagen des Wolpertschen Befundes; lasse man aber auch die Tatsache einer allgemeinen Verringerung der Kohlensäureabgabe bei den Versuchspersonen zu, so bleibe es durchaus fraglich, ob dann diese Verringerung durch die Einwirkung hypothetischer gasförmiger Ausscheidungen des Menschen bewirkt ist.

Da also alle Versuche, die gesundheitsschädlichen Folgen der Einatmung verbrauchter Luft auf chemische Veränderungen derselben zurückzuführen, als fehlgeschlagen zu betrachten sind, so suchten Flügge und seine

[1]) Archiv für Hygiene 8, 1888.

[2]) Archiv für Hygiene 47. 1903.

[3]) Zeitschrift für Hygiene, Bd. 49, 1905. Vergl. die Arbeit von Heymann, ebendort.

Mitarbeiter[1]) andere, physikalische Verhältnisse dafür verantwortlich zu machen. Es ist notwendig, auf die Verhältnisse der Wärmeregulation hier näher einzugehen. Rubner[2]) hatte 1893 nachgewiesen, dass im Tierkörper Einrichtungen bestehen, die den Zweck haben, eine gleichmässige und genügende Wärmeabgabe zu erhalten. „Nichts wäre törichter, als wenn man unter solchen Umständen eine Luft von »normaler« Feuchtigkeit herstellen wollte. Je trockener die Luft, desto leichter ist es dem Körper seine Feuchtigkeit los zu werden und hohe Trockenheit ist unter diesen Umständen eine wertvolle Bedingung für die Gesundheit.“ — Später konnte Rubner[3]), zum erstenmale durch Versuche am Menschen, zeigen, dass

1. die Wasserdampfausscheidung stets als eine Funktion der Temperatur betrachtet werden muss;
2. dass die absolute Grösse der Wasserdampfausscheidung bei hohen Trockenheitsgraden der Luft rasch, bei hohem Feuchtigkeitsgrad sehr gering zunimmt.

Alle diese Untersuchungen sind am ruhenden Menschen gemacht, die Arbeit steigert die ausgeschiedene Wasserdampfmenge auf das 4—6fache gegenüber dem Ruhezustand.

Die Wärmeabgabe durch Leitung hängt von der Temperatur der umgebenden Luft und der Geschwindigkeit des Vorbeistreichens der Luft ab, beides Momente, die in geschlossenen Räumen nur wenig zur Geltung kommen oder ganz aufgehoben sein können.

Die Wärmestrahlung, die nach Rubner 43, 74% des gesamten Wärmehaushaltes ausmacht, ist hauptsächlich von der Grösse und dem Ausstrahlungsvermögen der Körperoberfläche und von der Temperaturdifferenz gegenüber den umgebenden Gegenständen abhängig, wie Kisskalt[4])

[1]) Zeitschrift für Hygiene, Bd. 49, 1905. S. a. die Arbeiten von Paul und Ercklentz.

[2]) Archiv für Hygiene, Bd. 16, 1893.

[3]) Archiv für Hygiene, Bd. 29, 1897, Rubner und Lewaschew.

[4]) Archiv für Hygiene, Bd. 63, 1907.

in einer Untersuchung über die Wärmeabgabe des Menchen in ungleichmässig temperierten Räumen gezeigt hat.

Dieser letztgenannte Abfuhrweg der im Körper gebildeten Wärme dürfte wohl am meisten in überfüllten und übererwärmten Räumen beeinträchtigt werden. Die Menschen, die dicht gedrängt beieinander sitzen, verlegen sich gegenseitig die Wärmestrahlung. Dazu kommt, dass die Kleidung der Kirchenbesucher im Winter z. B. meist der Aussentemperatur angepasst ist. Ist dabei die Luft trocken, so können durch Wasserverdunstung entsprechend vermehrte Wärmemengen abgegeben werden. Bei 25° und 30% relativer Feuchtigkeit gibt der ruhende Mensch in der Stunde etwa 60 g Wasser ab, bei derselben Temperatur und 70% relativer Feuchtigkeit nur 30 g (Rubner), wodurch 32,2 bezw. 16,1 Kalorien gebunden werden. 16,1 Kalorien, die Differenz der beiden angenommenen Fälle, ist gleich 1/16 der in einer Stunde abgegebenen Wärmemenge.

Flügge war es, der zuerst auf diese Störung im Wärmegleichgewicht als Ursache der in Versammlungsräumen auftretenden Gesundheitsstörungen hinwies und die praktischen Konsequenzen daraus zog:

1. Die Temperatur in Wohnräumen, insbesondere in öffentlichen Räumen soll niemals über 21° hinausgehen;
2. Bewegung der Zimmerluft und Zufuhr kälterer und trockenerer Luft bilden eine wesentliche Abhilfe gegen die Wärmestauung.

Diesen neuen Anschauungen entsprechend hat Rietschel[1]) eine Formel für den stündlichen Lüftungsbedarf aufgestellt, bemessen nach einem nicht zu überschreitenden Feuchtigkeitsgehalt. Aber für praktische Messungen über Ventilation dürfte die Kohlensäurebestimmung nach Pettenkofer wegen ihrer Einfachheit und Genauigkeit nicht leicht durch eine andere Methode zu ersetzen sein. Dass daneben die verschiedenartigsten Verhältnisse berücksichtigt werden müssen, geht auch aus

[1]) Gesundheits-Ingenieur 1913, N. 3.

einer Arbeit von Kisskalt[1]) hervor, der zeigte, dass die Geruchsstoffe der Pettenkofer-Seidelschen Ventilationsformel folgen, wenn sie entstehen und solange sie sich in der Luft befinden, nicht aber wenn sie an den Oberflächen der Zimmerwände, der Möbel u. a. Gegenstände adsorbiert sind.

Ozon.

Seit der Entdeckung des Ozons durch Schönbein im Jahre 1840, haben dessen bemerkenswerte chemische Eigenschaften zahlreiche Versuche hervorgerufen, es für Desinfektions- und Heilzwecke dienstbar zu machen. Man sah in ihm gewissermassen eine potenzierte Form der „Lebensluft". Eine interessante Zusammenstellung der älteren Literatur über Ozon bringt Sonntag in der Zeitschrift für Hygiene[2]). Sonntag selbst stellte Versuche an mit ozonisiertem Sauerstoff von hoher Concentration (bis zu 13,53 mg O_3 im Liter), den er über Fäden mit angetrockneten Bakterien wegleitete. Sonntag konnte aber nur mit den höchsten Concentrationen Bakterien töten. Er kam deshalb zu dem Schluss: „Somit dürfte fernerhin über alle Bemühungen, welche dahin gehen, die schädigende Wirkung des gasförmigen Ozons auf pathogene Bakterien für die Therapie oder für prophylaktische Desinfektion zu verwerten, ohne weiteres der Stab zu brechen sein."

Nachdem aber die desinficierende Kraft des Ozons mit Erfolg zur Trinkwassersterilisation verwendet worden war, kamen auch wieder Bestrebungen auf, das Ozon zur Luftverbesserung zu benutzen, namentlich seitdem die

---

[1]) Die Entfernung der Geruchstoffe durch Ventilation, Archiv für Hygiene, Bd. 71, 1909.

[2]) Zeitschrift für Hygiene, Bd. 8, 1890. Vergl. „Arbeiten russischer Autoren über die Bedeutung des Ozons als Desinficiens" von Kowalkowsky. Zeitschrift für Hygiene, Bd. 9, 1890.

Technik imstande war, für die Ozonisierung grösserer Luftmengen brauchbare Apparate zu liefern. Lübbert[1]) empfiehlt die Ozonapparate mit den Worten: „Da wo Ozon in der Luft gefunden wird, kann man sicher sein, dass diese Luft frei von allem organischen Staub, übelriechenden Substanzen usw. gefunden wird, da diese alle das Ozon rasch zersetzen und neben Ozon nicht vorkommen können.“ Ferner betont Lübbert die geruchverbessernde Wirkung des Ozons in Fällen, wo die Ventilation allein nicht ausreichte, um die Ausdünstungen der Zwischendeckspassagiere z. B. auf überseeischen Dampfern zu entfernen.

Kuckuk[2]) berichtet über bakteriologische Untersuchungen in einem Schwimmbad in Heidelberg, die für die keimtötende Wirkung des Ozons zu sprechen schienen. Man muss sich aber dabei vor Augen halten, dass die an sich feuchte und staubfreie Luft des Schwimmbads in ihrem Keimgehalt durch die Aussenluft zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden stark beeinflusst werden kann; ausserdem sind Petrischalen, in die Kuckuk die Keime absitzen liess, für quantitative Zwecke nicht ausreichend. — Auch Kuckuk betont die angenehme Wirkung des Ozons, sofern es den Badegeruch beseitigte.

Cramer[3]) steht auf dem Standpunkt, dass die bakterientötende Wirkung des Ozons noch nicht unwiderleglich erwiesen sei. Er führt die Unklarheit über diesen Gegenstand darauf zurück, dass erstens umfangreichere Untersuchungen fehlen, und zweitens dass das Ozon-Luftgemisch für ventilatorische Zwecke lange nicht so concentriert genommen werden kann wie beim Wasser. Im übrigen empfiehlt Cramer das Ozon als wertvolle Ergänzung, nicht als Ersatz der sonstigen Lüftungsanlagen überall da, wo üble Gerüche auf andere Weise nicht zu beseitigen sind.

---

[1]) Gesundheits-Ingenieur, 30. Jahrgang, 1907. Nr. 49.

[2]) Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 53. Jahrgang. 1910.

[3]) Gesundheits-Ingenieur. 32. Jahrgang. 1909. Nr. 29.

Eine im wesentlichen ungünstige Beurteilung findet die Ozonventilation in einer Mitteilung von L. Schwarz[1]): Von den Bewohnern eines Kellerraums, der durch einen transportablen Apparat ohne Ventilationseinrichtung ozonisiert wurde, klagte weitaus die Mehrzahl über Kopfschmerzen, Atembeschwerden und Belästigung durch das geräuschvolle Arbeiten des Apparates. Dabei gelang es nur in nächster Nähe dieses, das Ozon aus 27 l Luft zu 2,4 mg im cbm Luft zu bestimmen. Diese Angabe lässt keinen sicheren Vergleich zu, da nach meinen Erfahrungen bei einer Concentration von 1—2 mg im cbm Luft zu einer einigermassen quantitativen Bestimmung mindestens 100 l Luft notwendig sind.

In einer ausführlichen experimentellen Arbeit über Luftozonisierung kommen Schwarz und Erlandsen[2]) zu dem Schluss:

1. dass Amoniak und Schwefelwasserstoff durch grosse Ozonmengen (10—20 mg im cbm Luft) nicht nachweisbar oxydiert werden;
2. dass für die in den menschlichen Ausdünstungen vorkommenden Riechstoffe (Trimethylamin, Buttersäure, Valeriansäure, Indol, Skatol) eine Geruchsverdeckung durch mehr oder minder grosse Ozonmengen erreicht wird, dass aber eine Zerstörung dieser Riechstoffe nicht anzunehmen sei. — Von einer Veröffentlichung ihrer durch Plattenverfahren gewonnenen Keimzahlen sehen Schwarz-Erlandsen ab, da einwandfreie Schlussfolgerungen sich nicht ergeben haben.

Kisskalt[3]) ist bei seinen Versuchen über Desodorierung mit einer andern Versuchstechnik zu einem andern Resultat gelangt als Schwarz-Erlandsen. Er glaubt, dass das Ozon imstande sei, mindestens einige riechende Körper in der Luft zu zerstören; die Versuche Schwarz-Erlandsens

---

[1]) Gesundheits-Ingenieur. 33. Jahrgang. 1910. Nr. 24.
[2]) Zeitschrift für Hygiene, Bd. 67, 1910.
[3]) Zeitschrift für Hygiene, Bd. 71, 1912.

können nicht als Gegenbeweis gegen die Annahme angeführt werden, dass Ozon in der Luft Schwefelwasserstoff z. B. zerstöre.

In allerjüngster Zeit sind noch folgende Arbeiten erschienen: Schneckenberg[1]) hat mit 0,002 % Ozon (= im cbm Luft bei 20° und 730 mm etwa 38 mg Ozon) eine Maus getötet. Bei Versuchen am Menschen wurde durch die Einatmung von ozonhaltiger Luft der Atmungsumsatz herabgedrückt; die Luft habe dabei stark, in einigen Fällen sogar unangenehm stark nach Ozon gerochen. Bei 0,0002—0,0003 % Ozon (= 3,8—5,7 mg O_3 im cbm Luft) traten Kopfschmerzen, Reizung der Luftwege und ähnliche Beschwerden auf.

Konrich[2]) weist die Schädlichkeit grösserer Ozonmengen durch Tierversuche nach. Der Geruch des Ozons ist nach Konrich vielen Leuten unangenehm. Ausserdem hebt Konrich hervor: „Ozon ist ein giftiges Gas. Wenn auch in der Lüftung die Ozonmengen, die man gewöhnlich gebraucht, unterhalb einer heftigeren Giftwirkung bleiben, so treten dabei doch immerhin schon Störungen in Form von Schleimhautreizungen auf. Die Empfindlichkeit der einzelnen Individuen gegen Ozon ist sehr verschieden und bei manchen nicht unbeträchtlich."

Zur Klärung der Ansichten über den Wert der Ozonventilation beizutragen, war mit ein Zweck dieser Arbeit.

Zusammenstellung von gefundenen Ozonmengen.

Im Freien: Nach Davy etwa 1 mg in 100 m^3.
Paris, Park Montsouris[3]):
Winter 1,41 — Frühling 1,74 — Sommer 1,84 — Herbst 1,43 mg in 100 m_3.
Chamonix (1080 m) 3,7 mg in 100 m_3.
Grand Mulets (3050 m) 9,4 mg in 100 m_3.

---

[1]) Gesundheits-Ingenieur. 35. Jahrgang. 1912. Nr. 52.

[2]) Zeitschrift für Hygiene, Bd. 73. 1913, Heft 3.

[3]) Aus Lode, Atmosphäre, im Handbuch der Hygiene von Rubner, Leipzig 1911.

In Wohnräumen, künstlich erzeugtes Ozon:
Lübbert: etwa 1/2 mg im cbm.
Schwarz: 2,4 mg im cbm.
Schwarz-Erlandsen (zu Versuchszwecken): 10—20 mg im cbm.

Untersuchungsmethoden.

Feuchtigkeit und Temperatur wurden jedesmal an 2 Stellen im Hörsaal gemessen. Thermometer 1 war mit der Quecksilberkugel 1,6 m über dem Erdboden, 3,8 m von der Decke entfernt aufgehängt; Thermometer 2 hing im oberen Teil des Hörsaals, 2 m von der Decke. — Zur Messung der Feuchtigkeit diente ein Lambrechtsches Polymeter.

Die Kohlensäure wurde nach der Pettenkoferschen Flaschenmethode bestimmt, gewöhnlich an 3 Stellen:

1. in der Mitte des Experimentiertisches (in der Beschreibung der Versuche mit 1. bezeichnet), 1,10 m über dem Fussboden;
2. in der Mitte des Hörsaals (mit 2. bezeichnet), 1,05 m über dem Fussboden;
3. in der obersten Bankreihe (mit 3. bezeichnet), 2,3 m über dem Fussboden, 3,10 m unter der Decke.

Zum qualitativen und quantitativen Nachweis des Ozons wurden 2—3 mit 50—100 ccm neutraler Jodkaliumlösung gefüllte Waschflaschen hintereinander gestellt und die Luft des Hörsaals durchgeleitet. Als Aspirator diente ein mit Wasser gefüllter Gasometer von 32,5 l Inhalt; durch 3—4 maliges Auslaufen dieses Behälters wurden 97,5 bezw. 130 l Luft durch die Waschflaschen gesaugt. Als Indikator für das abgeschiedene Jod diente Stärkelösung; titriert wurde mit $\frac{n}{1000}$ Natriumthiosulfatlösung. Die dritte Flasche zeigte bei den Versuchen keine, die zweite schwache Reaktion.

Die Menge der durch den Ventilator in der Zeiteinheit beförderten Luft wurde durch 5 Messungen mit dem Anemometer an verschiedenen Stellen des Querschnitts der Zuführungsöffnung bestimmt. Die beförderte Luftmenge ist gleich Geschwindigkeit mal Querschnitt des Ansaugerohrs. Die Röhren der Anlage sind aus Metall und dicht gefugt, es ist also nicht möglich, dass unterwegs Luft zugesaugt wird.

Zur Bestimmung der Keimzahl diente in erster Linie die Hesse sche Röhrenmethode. Die verwendete Nährgelatine (10 % Liebigs Fleischextrakt, 1 % Pepton, $^1/_2$ % Kochsalz) war bei allen Versuchen die gleiche. Um zu verhüten, dass langsam wachsende Kolonien von schneller wachsenden überwuchert werden, wurden bei den späteren Versuchen nur noch 30 und 25 l Luft durch die Hesseschen Röhren durchgeleitet, während anfangs 40 l verwendet worden waren; ausserdem wurden die Röhren während des Wachstums der Kolonien dauernd beobachtet.

Die Ficker sche Methode [evakuierte und mit Gelatine ausgerollte Glasröhren[1])] hat sich für die vorliegenden Zwecke als unbrauchbar erwiesen. Grössere Gefässe zu verwenden, war nicht möglich, weil nicht die nötigen Apparate zur Evakuierung vorhanden waren. Wenn in 1 cbm Luft 10000 Keime enthalten sind, so kommt auf einen Rauminhalt von 100 ccm 1 Keim, die zur Verfügung stehenden Röhren hatten nur etwa 90 ccm Inhalt; da mit der Hesseschen Röhre nur einmal mehr als 10000 Keime gefunden wurden, so konnten in den Fickerschen Röhren höchstens vereinzelte Kolonien wachsen, auch wenn der Keimgehalt unmittelbar nach dem Weggehen der Hörer durch das Aufwirbeln von Staub höher war, als die länger dauernde Luftentnahme mit der Hesseschen Röhre ergab. Zufall und Verunreinigung spielen aber dabei eine viel zu grosse Rolle, als dass auf den Keimgehalt einer 10000 mal grösseren Luftmenge geschlossen werden könnte.

---

[1]) Archiv für Hygiene, Bd. 69, 1909.

I. Versuche ohne Ventilation.

Versuch 1. 12. 11. 1912. Kolleg von 3—4 h p. m.
Etwa 80 Personen.
Luftdruck: 724 mm.
Temperatur: vor dem Kolleg unten 13°, oben 16°.
nach dem Kolleg unten 18°, oben 20°.
Kohlensäure: vor dem Kolleg 1. 0,549, 2. 0,372, 3. 0,581.
Durchschnitt 0,50 pro Mille.
nach dem Kolleg 1. 1,413, 2. 1,554, 3. 2,272.
Durchschnitt 1,75 pro Mille.

Versuch 2. 19. 11. 1912. Kolleg von 3—4 h p. m.
70—75 Personen.
Luftdruck: 738 mm, nach dem Kolleg 739 mm.
Temperatur: vor dem Kolleg unten 12°, Mitte 14°, oben 16°.
nach dem Kolleg unten 14°, Mitte 18°, oben 19°.
Kohlensäure: vor dem Kolleg 1. 1,171, 2. 1,065, 3. 0,643.
Durchschnitt 0,96 pro Mille.
nach dem Kolleg 1. 1,941, 2. 2,757, 3. 2,739.
Durchschnitt 2,48 pro Mille.

Versuch 3. 20. 1. 1913. Kolleg von 5—6 h p. m.
18 Personen.
Luftdruck: 728 mm.
Feuchtigkeit: 40—45 %.
Temperatur: 20° oben und unten. Leider fehlt bei diesem Versuch die Notiz über die Anfangstemperatur. Aussentemp. +3°.
Kohlensäure: nach dem Kolleg 1. 1,61, 2. 1,59, 3. 1,36.
Durchschnitt 1,52 pro Mille.

Hessesche Röhre: Beginn des Versuchs 6 h 10', Ende 7 h 45'. 40 l Luft in 95 Minuten. Nach 6 Tagen wurden gezählt: 55 Bakterienkolonien und 45 Schimmelpilzkolonien, zusammen 100 Kolonien. Es waren demnach in 1 cbm Luft des Hörsaals 2500 Keime, darunter 1375 Bakterienkeime enthalten.

Fickersche Röhre: am 30. 1. noch kein deutliches Wachstum.

Versuch 4. 31. 1. 1913. Kolleg von 5—6 h p. m.
19 Personen.
Luftdruck: 729 mm, am Ende der Stunde 730,5 mm.
Feuchtigkeit: Anfang unten 42%, oben 36%.
Ende unten 42%, oben 35%.
Temperatur: Anfang unten 18,75°, oben 20°.
Ende unten 20,0°, oben 21°.
Aussentemperatur +2°.
Kohlensäure: vor der Vorlesung 1. 1,47, 2. 0,94, 3. 1,30.
Durchschnitt 1,24 pro Mille. Ziffer 1 ist durch die Vorbereitungen für die Vorlesung beeinflusst.
nach der Vorlesung 1. 1,29, 2. 1,14, 3. 1,29.
Durchschnitt ebenfalls 1,24 pro Mille.
Hessesche Röhre: Beginn des Versuchs 5 h 18'. Ende 6 h 45'; 30 l Luft in 87 Minuten. Nach 7 Tagen wurden gezählt: 41 Bakterienkol. und 72 Schimmelpilzkol., im cbm Luft also 3760 Kol. darunter 1360 Bakterienkol.

Versuch 5. 14. 2. 1913. Kolleg von 5—6 h p. m.
16 Personen.
Luftdruck: 741 mm.
Feuchtigkeit: 35—40%.
Temperatur: Anfang unten 18°, oben 18,5°.
Ende unten 20°, oben 21,25°.
Aussentemperatur +4°.
Kohlensäure: vor dem Kolleg 1. 0,60, 2. 0,45, 3. 0,59.
Durchschnitt 0,55 pro Mille.
nach dem Kolleg 1. 0,90, 2. 0,90, 3. 0,95.
Durchschnitt 0,92 pro Mille.

II. Versuche mit Frischluftventilation ohne Ozon.

Versuch 6. 22. 1. 1913. Kolleg von 5—6 h p. m.
26 Personen.
Luftdruck: 737 mm.
Feuchtigkeit: 40%.
Temperatur: Anfang unten 21°, oben 23°.
Ende unten 22°, oben 22°.
Aussentemperatur +3°.

Kohlensäure: nach der Vorlesung 1. 1,14, 2. 1,17, 3. 1,03. Durchschnitt 1,11 pro Mille.

Hessesche Röhre: Beginn des Versuchs 6 h 0,8′. Ende 7 h 45′. 40 l Luft in 97 Minuten. Nach 6 Tagen wurden gezählt: 46 Bakterienkol. und 481 Schimmelpilzkol. Es kommen also auf 1 cbm Luft 13 175 Kolonien darunter 1 150 Bakterienkol.

Fickersche Röhre am 30. 1.: 3 Kolonien.

Versuch 7. 3. 2. 1913. Kolleg von 5—6 h p. m. 19 Personen.

Luftdruck: 741 mm, nach der Stunde 743 mm.

Feuchtigkeit: 40%.

Temperatur: Anfang unten 18,25°, oben 19,5°. Ende unten 19,75°, oben 20°. Aussentemperatur +8°, regnerisches Wetter.

Kohlensäure: vor der Vorlesung 1. 0,68, 2. —, 3. 1,10. Durchschnitt 0,89 pro Mille. nach der Vorlesung 1. 1,05, 2. 1,06, 3. 1,10. Durchschnitt 1,07 pro Mille.

Mit dem Anemometer wurde durch Messungen an 5 verschiedenen Stellen des Querschnitts festgestellt, dass die Luft die Öffnung des Entnahmerohrs mit 285 m Geschwindigkeit in der Minute passiert. Es wurden demnach dem Hörsaal in 50 Minuten etwa 645 cbm Luft zugeführt.

Hessesche Röhre: Beginn 5 h 35′, Ende 6 h 54′. 30 l Luft in 79 Min. Nach 7 Tagen wurden gezählt: 39 Bakterienkol. und 27 Schimmelpilzkol., also im cbm Luft 2 200 Kol., darunter 1 300 Bakterienkol.

III. Versuche mit Ventilation mit ozonisierter Luft.

Versuch 8. 10. 12. 1912. Kolleg von 3—4 h p. m. 65 Personen.

Luftdruck: 742 mm.

Temperatur: Anfang unten 19°, Mitte 20°, oben 22°.
Ende unten 20°, Mitte 21°, oben 22°.
Kohlensäure: vor dem Kolleg 1. 0,906, 2. 0,741, 3. 1,079.
Durchschnitt 0,91 pro Mille.
nach dem Kolleg 1. 1,499, 2. 1,856, 3. 1,702.
Durchschnitt 1,69 pro Mille.

Versuch 9. 24. 1. 1913. Kolleg von 5—6 h p. m.
19 Personen.
Der Schalthebel des Ozonerzeugers ist auf 2 gestellt.
Luftdruck: 735 mm.
Feuchtigkeit: vor der Stunde 50—55%.
nachher 40—45%.
Temperatur: Anfang unten 19,5°, oben 20°.
Ende unten 20°, oben 19°.
Aussentemperatur +4°.
Kohlensäure: nach der Vorlesung 1. 1,13, 2. 1,01, 3. 1,17.
Durchschnitt 1,10 pro Mille.
Ozonnachweis: Während der Vorlesung wird Luft durch 2 je mit 100 ccm neutraler Jodkaliumlösung gefüllte Waschflaschen durchgesaugt. Mit Stärkelösung deutliche Färbung. Wegen Versagens der verwendeten Gasuhr konnte die Menge der durchgeleiteten Luft nicht bestimmt werden.
Hessesche Röhre: Beginn 6 h 10', Ende 7 h 45'. 40 l Luft in 95 Minuten. Nach 6 Tagen wurden gezählt: 29 Bakterienkol. und 134 Schimmelpilzkol. also im cbm Luft 4075 Kol. darunter 725 Bakterienkol.
Fickersche Röhre: nach 14 Tagen 9 Kolonien.

Versuch 10. 29. 1. 1913. Kolleg von 5—6 h p. m.
24 Personen.
1½ Stunden vor dem Kolleg wurden auf dem Experimentiertisch mehrere Wasserbäder aufgestellt. Während des Kollegs brannte ein grosses Wasserbad.
Luftdruck: 736 mm.

Feuchtigkeit: Anfang unten 50%, oben schwach 50%.
Ende unten 40—45%, oben 45%
Temperatur: Anfang unten 19°, oben 19,5°.
Ende unten 19,25°, oben 18,75°.
Aussentemperatur ±0°.
Kohlensäure: vor dem Kolleg 1. 1,65, 2. —, 3. 1,47
Durchschnitt 1,56 pro Mille Namentlich die erste Zahl ist durch die aufgestellten Gasbrenner beeinflusst.
nach dem Kolleg 1. 1,79, 2. 1,39, 3. 1,45.
Durchschnitt 1,54 pro Mille.
Hessesche Röhre: Beginn des Versuchs 6 h 07′, Ende 8 h 07′. 50 l Luft in 120 Minuten. Während des Versuchs wird der Schalthebel des Ozonisators, der anfangs auf 2 gestellt war, auf 3 eingestellt. Kurz nach 7 h wurde der Apparat abgestellt. Nach 8 Tagen wurden gezählt: 29 Bakterienkol., 32 Schimmelpilzkol.; im cbm Luft also 1220 Kolonien, darunter 580 Bakterienkol. Der Kontrollwattepfropf blieb steril.
Ozonnachweis: in 97,5 l Luft 0,097 mg Ozon, in 1 m_3 Luft 1 mg Ozon.

Versuch 11. 5. 2. 1913. Kolleg von 5—6 h p. m.
21 Personen.
Luftdruck: 738 mm.
Feuchtigkeit: 42%, keine merkliche Zu- oder Abnahme während der Vorlesung.
Temperatur: Anfang unten 18,25°, oben 19,0°.
Ende unten 19°, oben 18,25°.
Aussentemperatur +4°.
Kohlensäure: vor der Vorlesung 1. 0,78, 2. —, 3. 1,0.
Durchschnitt 0,89 pro Mille.
nach der Vorlesung 1. 1,20, 2. 1,28, 3. 1,09.
Durchschnitt 1,19 pro Mille.
Ozonnachweis: etwa 0,7 mg O_3 im cbm Luft.
Hessesche Röhre: Beginn 5 h 22′, Ende 6 h 35′. 30 l Luft in 73 Minuten; während des Versuchs geht die Ozonventilation weiter. Nach 6 Tagen

wurden gezählt: 52 Bakterienkol. und 130 Schimmelpilzkol., im cbm Luft also 6066 Kol., darunter 1733 Bakterienkol.

Versuch 12. 10. 2. 1913. Nach einem schwach besuchten Kolleg von 2—3 h p. m., während dessen mit ozonisierter Luft ventiliert wurde.

Hessesche Röhre: Beginn 3 h 06′, Ende 4 h 11′. 25 l Luft in 65 Minuten. Nach 7 Tagen wurden gezählt: 36 Bakterienkol. und 8 Schimmelpilzkol.; im cbm Luft also 1760 Kolonien, darunter 1440 Bakterienkol.

Versuch 13. 10. 2. 1913. (Am Abend desselben Tages wie Versuch 12) Kolleg von 5—6 h p. m.

18 Personen.

Um zu sehen, ob der Keimgehalt durch die Ventilationsluft beeinflusst wird, wurde — nur bei diesem Versuch — die Öffnung des Zuführungsrohrs mit einem Flanneltuche verschlossen. Infolge des erheblichen Widerstandes, den dieses Tuch dem Luftstrom entgegensetzte, konnte der Ventilator eine nur geringe, dafür aber ein concentrierteres Ozongemisch darstellende Luftmenge befördern. Starker Ozongeruch.

Luftdruck 749 mm.

Feuchtigkeit: 38—39%.

Temperatur: Anfang unten 18°, oben 19°.
Ende unten 19°, oben 19,75°.
Aussentemperatur +3°.

Kohlensäure: vor dem Kolleg 1. 0,95, 2. —, 3. 1,07.
Durchschnitt 1,01 pro Mille.
nach dem Kolleg 1. 1,72, 2. 1,37, 3. 1,37.
Durchschnitt 1,49 pro Mille.

Ozonnachweis: 1,3 mg Ozon im cbm Luft.

Hessesche Röhre: Beginn 6 h 06′, Ende 7 h 13′. 25 l Luft in 67 Minuten. Nach 7 Tagen wurden gezählt: 25 Bakterienkol. und 122 Schimmelpilzkol.; im cbm Luft also 5880 Keime, darunter

1000 Bakterienkeime. Kontrollwattepfropf steril, 3 cm davon entfernt 3 Pilzkol. Während des Versuchs dauerte die Ozonisierung weiter.

Versuch 14. 12. 2. 1913. Kolleg von 5—6 h p. m. 22 Personen.

Um das Verhalten des Ozons bei feuchter Luft kennen zu lernen, wurden $1^1/_2$ Stunden vor der Vorlesung auf dem Experimentiertisch 4 Wasserbäder, sowie oben und an einer Seite 3 grössere Gefässe aufgestellt, um Wasser zu verdampfen; während des Kollegs wurde oben und an der Seite noch weiter verdunstet. Im Ganzen wurden 19,05 l Wasser verdunstet.

Luftdruck: 750 mm.

Feuchtigkeit: Anfang unten 62—63 %, oben 73 %.
Ende unten 56—57 %, oben 62 %.

Um die Luft des Hörsaals sowie die Ventilationsluft mit Wasserdampf zu sättigen, wären der Berechnung nach rund 18 l Wasser nötig gewesen. Da über 19 l verdunstet wurden, muss ein beträchtlicher Teil dieser Wassermenge verloren gegangen sein, z. B. dadurch, dass sich das Wasser an kälteren Stellen niederschlug. So war das Luftzuführungsrohr, trotzdem es hart an einem Ofen vorbeiführt und sonst immer erwärmt war, von oben bis unten tropfnass.

Temperatur: Anfang unten 21,25°, oben 22,5°.
Ende unten 21,5°, oben 21,5°.
Aussentemperatur +3°.

Kohlensäure: vor der Vorlesung 1. 2,21, 2. —, 3. 2,31.
Durchschnitt 2,26 pro Mille.
nach der Vorlesung 1. 1,92, 2. 2,04, 3. 2,13.
Durchschnitt 2,03 pro Mille.

Ozon: in Spuren nachweisbar; während der Vorlesung fiel der gegen sonst sehr schwache Ozongeruch auf.

Hessesche Röhre: Beginn des Versuchs 5 h 55′, Ende 7 h 03′. 25 l Luft in 68 Minuten. Nach

8 Tagen wurden gezählt: 48 Bakterien- und 70 Schimmelpilzkolonien; im cbm Luft also 4720 Kolonien, darunter 1920 Bakterienkolonien.

Der Kohlensäuregehalt der Luft stieg während des Kollegs bei den Versuchen ohne Ventilation um 0,37 bis 1,52 pro Mille an, bei den Versuchen mit Ventilation jedoch nur um 0,18 bis 0,78 pro Mille; er nahm in 2 Versuchen (10 und 14) sogar ab um 0,02 bezw. 0,23 pro Mille.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft blieb in allen Versuchen niedrig. Der Wasserdampf, herrührend von der Ausatmungsluft der Menschen, sammelte sich nicht in so reichlichen Mengen an, dass die Hygrometer dies durch Anstieg angezeigt hätten. Die von aussen einströmende kühle und deshalb nach der Erwärmung trockene Frischluft genügt, selbst wenn die Lufterneuerung des Hörsaals nur auf die natürliche Ventilation angewiesen ist, um den Feuchtigkeitsgehalt der Luft tief zu halten. Auch bei Versuch 14, bei dem während der Vorlesung Wasser im Hörsaal verdunstet wurde, drückte die einströmende Frischluft den Feuchtigkeitsgehalt der Luft um 9%.

Wie hier, so zeigt auch die Temperaturbeobachtung den wohltätigen Einfluss der Ventilation.

Die Temperatur des ganzen Raumes nahm bei den Versuchen ohne Ventilation durchschnittlich zu um 1,3 bis 4,5°. Das war bei den Versuchen mit Ventilation niemals der Fall. Wenn sie überhaupt zunahm, dann geschah dies nur um Bruchteile von Graden; sie blieb bei den meisten Versuchen am Anfang und Ende der Vorlesung entweder gleich (Versuch 6 und 11), oder nahm sogar etwas ab (Versuch 9, 10 und 14).

Der Vorteil der besonderen Art der Ventilation, wie sie im Hörsaal des hygienischen Instituts angewandt wird, ist aber noch in einem andern Punkt zu suchen.

Es ist bei amphitheatralisch gebauten Hörsälen höchst unangenehm, dass die Luftschicht, in der sich die höher gelegenen Plätze befinden, erheblich wärmer und reicher

an Kohlensäure, also auch an Ausatmungsprodukten der Menschen ist, als die unteren; das haben Renk[1]) und Nussbaum[2]) nachgewiesen. Nach den Untersuchungen von Renk ist die Luft im münchener Hoftheater in den Rängen wärmer und kohlensäurereicher als im Parkett. Es kommt dies daher, dass die Ausatmungsluft, die wärmer ist als die Luft des Raumes, aufsteigt und sich zunächst in den obern Teilen des Theaters ansammelt. Nussbaum hat nachgewiesen, dass in beheizten Räumen Temperatur unterschiede zwischen der Luft in der Nähe des Fussbodens und der Decke von 18° vorkommen.

Wird die Frischluft, wie bei der Ventilation im Hörsaal des hygienischen Instituts, in der Nähe der Decke zugeführt, dann wird die Luft in den höheren Schichten in der Temperatur und im Kohlensäuregehalt herabgedrückt, ohne dass, wie aus den Versuchen hervorgeht, die Luft in den tieferen Schichten an Wärme und Kohlensäuregehalt zunimmt. Darin liegt der grosse Vorteil dieser Art Ventilation. Die zahlreichen Öffnungen, durch die die Frischluft in den Hörsaal einströmt, verhindern, dass das Gefühl von Zug entstehen könnte.

Wäre in dem Hörsaal statt der Pulsions- die Aspirationsmethode verwendet worden, dann wäre noch ein anderer Übelstand zutage getreten. Die amphitheatralisch angeordneten Bänke stehen inmitten der steinernen Umfassungswände auf einer Holzkonstruktion, die ihrerseits dem Fussboden des Kellergeschosses aufsteht. Es ist kein Zwischen- oder Fehlboden vorhanden, so dass die Luft aus dem Keller fast ungehindert in den Hörsaal übertreten kann. Die Kellerräume dienen als Lager für Futtervorräte, Kohlen usw.; es liegen ausserdem dort die Ställe für die Versuchstiere. Es können also Gerüche aller Art aus dem Keller in den Hörsaal übertreten. Das wird im Winter, wenn der Hörsaal geheizt ist, und die aufsteigende warme Luft Kellerluft nachzieht, mehr der Fall sein als

[1]) Archiv für Hygiene, Bd. 3, 1885.

[2]) Zeitschrift für Heizungs-, Lüftungs- und Wasserleitungstechnik, 1902, Nr. 23, S. 265.

im Sommer, wenn beide Räume nahezu gleichmässig erwärmt sind. Die Aspirationsventilation würde hier, wie in allen gleichliegenden Fällen, den Geruch nur verschlimmern; denn es würde die von dem Ventilator aus dem Hörsaal hinausbeförderte Luft vom Keller aus ersetzt werden.

Die Zumischung von Ozon zur Frischluft war weder auf den Kohlensäuregehalt der Luft, noch auf die Keime nachweisbar von Einfluss. Der Keimgehalt der Luft hängt jedenfalls von Witterungseinflüssen ab; Niederschläge verhindern, trockenes Wetter fördert die Staubentwicklung durch das Schuhwerk und die Kleider der Personen, die den Hörsaal benutzen. Die Mehrzahl der Luftkeime wird mit dem Staub in die Luft befördert. Ozon kann in der Koncentration, in der es angewendet wurde, in der Luft schwebende Keime nicht abtöten; das ist auch dann nicht der Fall, wenn die Luft, wie bei Versuch 14, künstlich feuchtgehalten wird. Sonntag hatte, allerdings bei viel stärkerer Koncentration — anfänglich 13,53 mg, nach der Einwirkung auf die Mikrobien und andere organische Stoffe noch 5,83 mg im Liter — beobachtet, dass feucht gehaltene Milzbrandsporen und Eiterkokken abgetötet wurden, während in trockenem Zustand wohl die Eiterkokken vernichtet waren, die Milzbrandsporen aber nur in beschränktem Masse Einbusse an ihrer Entwicklungsfähigkeit erfahren hatten. Man hätte meinen können, dass Ozon in feuchter Luft auch in geringerer Koncentration auf die grösstenteils isolierten Keime der Luft einwirken würde; es war dies jedoch nicht der Fall.

Es war bei diesem Versuch von besonderem Interesse zu beobachten, dass Ozon in der feuchten Luft von der Nase nicht mehr wahrgenommen werden konnte, eine Erscheinung, die Konrich ebenfalls erwähnt.

Wenn wir zum Schluss auf die Frage eingehen, ob die Ventilation mit Ozon überhaupt einen Sinn hat, nachdem die Untersuchungsergebnisse negativ ausgefallen sind, so ist von vornherein darauf hinzuweisen, dass Ozon die Ventilation, d. h. die Zuführung von Frischluft niemals ersetzen kann. Es sind deshalb alle Ozon erzeugenden Apparate ohne Ventilationsvorrichtung sinnlos und geradezu gefährlich, weil sie vom Publikum an Stelle der wirklichen Desinfektion und der Erneuerung der Luft gebraucht werden könnten. Es ist aber sehr wohl denkbar, dass Ozon, der Frischluft zugemischt, die Luft in Hörsälen und Versammlungsräumen verbessert, die Ventilation also in ihrer Wirkung erhöht. Man ist hierbei allerdings zur Erklärung auf theoretische Erwägungen und subjektive Empfindungen angewiesen. Vielleicht ist die Weichardt'sche Katalysatorenreaktion imstande, die Verschlechterung der Luft durch die Lebenstätigkeit des Menschen und ihre Verbesserung durch Ozon objektiv anzuzeigen, wofür bisher die Nase das empfindlichste Reagens war.

Es ist schon erwähnt, dass die Luft des Hörsaals des hygienischen Instituts oft dumpf und unangenehm riecht. Dieser Geruch ist durch die Ventilation mit Frischluft allein nicht zu beseitigen; er ist aber nicht mehr wahrzunehmen, sobald Ozon der Frischluft beigemischt ist. Dasselbe ist der Fall mit dem „Geruch nach Menschen", der sich am Schluss der Vorlesung bemerkbar macht. Dieser ist durch die Frischluft allein nicht zu beseitigen; er weicht aber, wenn sie Ozon enthält. Es genügen dazu schon geringe Ozonmengen, durch die selbst empfindliche Personen nicht belästigt werden. Ähnliche Beobachtungen liegen von Krankenhäusern vor. In der k. württ. Heilanstalt Winnental befindet sich ein Ozon-Ventilations-Apparat derselben Konstruktion wie im hygienischen Institut. Man schreibt uns von dort: „Dass die Luft durch die Ozonisierung wesentlich verbessert wird, kann Ihnen folgendes beweisen: Unsere Abteilungen H der Männerseite und K der Frauenseite entsprechen sich in der Grösse

und der Art der Kranken, es sind ausgesprochene Siechenabteilungen. Während auf der nicht ozonisierten Männerseite der Uringeruch kaum herauszubringen ist, hat man auf der Frauenseite — man kann sagen, unter gleichen Bedingungen riechen Frauen mehr — darunter nicht im geringsten zu leiden, sondern die Luft kommt einem immer frisch vor".

Ich hatte ausserdem Gelegenheit, einen grossen industriellen Betrieb (die mechanischen Baumwollwebereien und -Spinnereien U. Gminder in Reutlingen) zu besichtigen, in dem schon seit einigen Jahren mit ozonisierter Luft ventiliert wird. Aus Erfahrung wurde mir hier mitgeteilt, dass die Koncentration des Ozons am besten so reguliert werde, dass man es eben riechen könne. Es sei im Anfang vorgekommen, dass an einigen Plätzen zu viel Ozon ausgeströmt sei und Kopfweh erzeugt habe. Abgesehen davon habe sich die Ozonventilation gut bewährt; in den Fabrikräumen habe vorher eine dumpfe, scheusslich riechende Luft geherrscht, herrührend von den arbeitenden Menschen und von gewissen Gährungsprozessen der feuchten Materialien. — Ist diese zuletzt genannte Beobachtung auch nicht von wissenschaftlich gebildeten Leuten angestellt, so lässt sich doch hier nicht einwenden wie bei den Versuchen Lübberts, dass die Leute so unempfindlich seien, dass ihnen auch grosse Ozonmengen nicht lästig fallen.

Die Erwägung dürfte nicht falsch sein, dass die Gerüche, die der von Menschen verbrauchten Luft anhaften, mindestens zum Teil herrühren von chemisch reaktionsfähigen Stoffen, an die sich Ozon anzulagern vermag. Geht aber Ozon mit ihnen Verbindungen ein, dann werden sie verändert und verlieren den Geruch. Auf diese Weise sind wir imstande, uns die Wirkung des Ozons auf die Riechstoffe vorzustellen.

Die Versuche anderer Autoren, die zeigen sollen, dass gewisse organische Soffe durch Ozon nicht zerstört werden, vermögen diese Ansicht nicht zu widerlegen. Die Natur der vom Menschen gebildeten Riechstoffe ist nur zum Teil bekannt; man kann daher ihr Verhalten gegen Ozon

dem beliebiger organischer Körper nicht ohne weiteres gleichsetzen.

Wir können uns nicht auf den Standpunkt stellen, den Konrich in seiner Abhandlung[1]) vertritt, dass Ozon wegen seiner Reizwirkungen und wegen seiner giftigen Eigenschaften zur Ventilation untauglich sei. Wenn er schon durch ganz geringe Beimischungen von Ozon zur Luft belästigt wurde, „Brennen in den Augen, Gefühl des Wundseins hinter dem Sternum" usw. verspürte, dann ist er eben durch die vielen Versuche, die er mit Ozon angestellt hat, überempfindlich dagegen geworden. Es ist eine bekannte Erfahrung, dass Personen, die mit Formaldehyd, Amylacetat usw. zu arbeiten haben, schliesslich schon die geringsten Mengen davon in der Luft ihrer Umgebung bemerken, und durch sie unangenehm beeinflusst werden, durch Mengen, die von andern Personen, die mit den Stoffen noch niemals in Berührung kamen, gar nicht bemerkt werden.

Man darf, um die Nichtigkeit der Ozonzumischung zur Frischluft zu kennzeichnen, nicht Beispiele wie Konrich anführen von der Darmreinigungsanstalt eines Schlachthofes. Es ist zum mindesten zweifelhaft, ob die dort vorhandenen Geruchstoffe sich überhaupt durch Ozon beeinflussen lassen, ganz abgesehen von der grossen Menge, in der sie vorhanden sind. Wohl aber bietet das Ozon Aussicht, die Luft in Räumen zu verbessern, in denen die Frischluftventilation allein nicht ausreicht, z. B. in Kasernen und Gefängnissen, denen beiden ganz spezifische Gerüche anhaften, die jeder Frischluftventilation trotzen. Die Ventilationsanlagen der Schlafsäle grosser Gefängnisse z. B. sind so eingerichtet, dass die Luft den Grenzwert des Pettenkoferschen Kohlensäuregehaltes von 1,0 pro Mille nicht übersteigt; sie riecht aber trotzdem höchst widerlich. Wird der Frischluft Ozon zugeführt, dann ist es höchst wahrscheinlich, dass der Geruch ganz beseitigt oder doch zum mindesten herabgemildert wird. So viel Ozon, dass es wahrnehmbar wird, dass es an die Stelle

[1]) Zeitschrift für Hygiene, Bd. 73. 1913. 3. Heft.

der Riechstoffe tritt, und sie verdeckt, darf der Luft nicht zugemischt werden. Es ist aber sehr wohl durch genaues Ausprobieren das Mass von Ozon für jeden Raum festzustellen, das ohne selbst wahrnehmbar zu werden, die Gerüche beseitigt oder mildert.

Es ist eigentlich überflüssig zu erwähnen, dass es Räume gibt, die mit Frischluft allein gut ventiliert werden können und in denen es ganz überflüssig ist, Ozon der Luft zuzumischen. Das sind Räume, die nur vorübergehend benutzt werden, in denen sich Menschen nur kurze Zeit und nach längeren Zwischenpausen aufhalten. Dort aber, wo der Geruch nach Menschen allen Gegenständen anhaftet, so dass er, selbst wenn die Räume vier Wochen lang bei offenen Fenstern unbenutzt bleiben, nach dem Schliessen der Fenster sofort in der alten Stärke wiederkehrt, in solchen Räumen scheint das Ozon berufen zu sein, gute Dienste zu leisten.

Zusammenfassung.

1. Bei der Ventilation von Hörsälen, Versammlungsräumen usw., ist die Pulsionsmethode der Aspirationsmethode unter allen Umständen überlegen. Die Frischluft soll nicht durch eine einzige Öffnung, sondern durch viele zugeführt werden. Diese sind am besten in der Nähe der Decke anzubringen, vor allem dann, wenn die Plätze amphitheatralisch angeordnet sind.
2. Dass die Luft in Hörsälen usw. durch Zumischung von Ozon zur Frischluft verbessert würde, ist objektiv mit Hilfe der uns bekannten Untersuchungsmethoden nicht nachzuweisen. Es besteht aber kein Zweifel, dass subjektiv Riechstoffe durch Frischluft mit Ozon besser beseitigt werden, als durch Frischluft allein.
3. Ozon darf zur Ventilation nur verwendet werden, wenn es der Frischluft zugemischt wird. Die Menge darf nie so erheblich sein, dass es unangenehm bemerkbar wird (0,5 mg im cbm als Höchstmass).

Lebenslauf.

Ich, Eberhard Albrecht Leonhardt, bin geboren am 7. Februar 1889 in Beilstein O/A Marbach am Neckar, als Sohn des Gerichtsnotars Heinrich Leonhardt. Von Herbst 1895 an besuchte ich in Tübingen die Elementarschule, später das Gymnasium, das ich im Sommer 1907 mit dem Zeugnis der Reife verliess. Im Wintersemester 1907/08 begann ich in Tübingen das Studium der Medicin. Vom 1. April bis 30. September 1908 diente ich im 10. württ. Inf.-Reg. Nr. 180. Dann setzte ich meine Studien in Tübingen fort, wo ich im Frühjahr 1910 die ärztliche Vorprüfung bestand. Im Sommersemester 1910 studierte ich in München, die letzten Semester wieder in Tübingen, um im Dezember 1912 die ärztliche Staatsprüfung abzulegen. Seit 16. Dezember 1912 bin ich im Tübinger hygienischen Institut als Medicinalpraktikant eingetreten.